



МАҚАЛАЛАР ЖИНАҒЫ

Мұнай-газ индустриясының
инновациялық даму мәселелері

Төртінші Халықаралық ғылыми-практикалық конференция
Алматы, ҚБТУ, 23-24 ақпан, 2012

PROCEEDINGS

Innovative development
problems in oil & gas industry

The Fourth International Scientific & Practical Conference
Almaty, KBTU, February 23-24, 2012

СБОРНИК ТРУДОВ

Проблемы инновационного развития
нефтегазовой индустрии

Четвертая Международная научно-практическая конференция
Алматы, КБТУ, 23-24 февраля, 2012



Kazakh-British Technical University
SPE student chapter



В.Н. Стациук, Г.К. Бишимбаева, Л.А. Фогель, С. Айт Использование комплексонов на основе фосфоновых кислот при транспортировке, совместной добыче и промысловом сборе разнородных нефтей	146
А.С. Таубаева, У.Ж. Джусипбеков, Г.О. Нургалиева, З.К. Баяхметова Перспективные методы очистки нефтезагрязненных вод.	147
Ф.М. Токтабаева, А.И. Джумекеева, А.К. Жармагамбетова Разложение пероксида водорода на комплексах металлов с полигалактуронатом нанесенных на оксид алюминия.	150
О.К. Югай, Т.П. Михайловская, П.Б. Воробьев Каталитическое окислительное дегидрирование алкилароматических углеводородов.	153
СЕКЦИЯ 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОВОМ СЕКТОРЕ	
М.У. Alekseyev Fuzzy controller for oil wells management.	154
А.Ж. Баялиев Методика и результаты экспериментальных исследований отбойного молота с двухкривошипно-ползунным механизмом переменной структуры с воздушной подушкой с гидроприводом.	159
В.Е. Bekbaev A numerical hydrodynamic study of water coning control methods in oil wells.	163
С.Б. Беркимбаева, Р.М. Дузбаева Мұнай өндіруді онтайландырудың бір есебі туралы.	170
Н.Т. Данаев, Д.Ж. Ахмед-Заки, Т.С. Иманкулов, Б.С. Дарибаев, О.Н. Турар Гидродинамический симулятор с использованием современных информационных технологий.	182
М.С. Джуматаев, А.Ж. Баялиев К составлению математической модели ударной машины с двухкривошипно- ползунным механизмом переменной структуры.	190
Р.Т. Кельтенова, М.Ж. Омарова Оптимизационные задачи линейной комплементарности в экономике.	197
T.S. Kenzhebayev Inverse problem for the equation of an unsteady filtration of an elastic homogeneous liquid in an elastic inhomogeneous porous medium.	200
К.Т. Кожамет, Г.К. Борцова, И. Толеубаев Разработка веб-интерфейса экспертной системы на языке Fril для аудита информационной безопасности.	207

Н.Т. Данаев, Д.Ж. Ахмед-Заки, Т.С. Иманкулов, Б.С. Дарибаев, О.Н. Турар

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: imankulov_ts@mail.ru*

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ СИМУЛЯТОР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Нефтегазовый комплекс Казахстана требует качественного анализа текущего состояния разработки и эффективности применения методов повышения нефтеизвлечения при помощи информационных систем на основе математических моделей, описывающих процессы фильтрации многофазных жидкостей в пористой среде. Математические модели должны учитывать особенности месторождений, применяемых при разработке технологий. Разработка математических моделей программных комплексов позволяет наполнять базу информационных технологий, используемых для проектирования и анализа технологий добычи, бурения и разведки нефтяных месторождений.

Нефтегазовыми компаниями и научно-исследовательскими организациями в дальнем и ближнем зарубежье и в Республике Казахстан разрабатываются и внедряются в промышленность новые способы и технологические процессы извлечения и переработки нефти и газа. Например, в настоящее время в мире имеется огромное количество исследований в области теории фильтрации с достаточно большим набором тех или иных математических моделей и различных подходов их решения. К сожалению в реальности при разработках месторождений нефти и газа возникают более сложные варианты протекания процессов фильтрации с учетом кинетики тепло-массообмена и т.д., что, естественно, напрямую влияет на технологическую схему эксплуатации объекта и требует наличия информационных систем «быстрого реагирования (расчета) и прогнозирования. Последнее предполагает формирование систем адекватного компьютерного моделирования и его скорейшего расчета в минимально короткие сроки, что невозможно достигнуть без применения современных пакетов программ. Основные недостатки и проблемы существующих ИТ систем заключается в:

- существующие на месторождениях пакеты программ не всегда адаптированы к условиям месторождений Казахстана, требуют введения данных, которые изначально трудно определяемы в промысловых условиях;
- проведение дорогостоящего гарантийного эксплуатационного обслуживания установленных программ за 4 года составит более 70% от начальной стоимости;
- программы-анализаторы технологических задач обычно устанавливаются на персональных компьютерах технологов и инженеров-разработчиков в промысловых условиях (в НГДУ, ПФ и т.д.) с локальным накоплением данных и при проведении сложных расчетов имеют низкую производительную эффективность из-за технических характеристик компьютеров;
- при выпуске новых версий программ необходима их повторная установка на месторождениях в промысловых условиях, с осуществлением перекачки данных на новую систему.

Общезвестно, что для решения указанных проблем необходимо повысить научно-технический потенциал компаний и поставщиков услуг в данной области. Разработка отечественных информационных технологий с адаптацией к условиям месторождений Казахстана и с использованием современных вычислительных ресурсов для удешевления стоимости и оптимизации временных издержек.

Необходимость решения больших задач неизбежно приводит к применению вычислительной техники на пределе их возможностей. В настоящее время в Казахстане вычислительные работы ведутся на персональных компьютерах, ресурсы которых сильно ограничены. В научно-исследовательских центрах при крупных производственных компаниях развитых стран дальнего зарубежья и России временные исследования базируются на высокопроизводительных компьютерах, производительность которых позволяет значительно сократить вычислительные и организационные издержки.

Все вышеперечисленное определяет особую актуальность развития ИТ инфраструктуры нефтегазовой отрасли, когда в Казахстане уже проводятся работы по организации крупных вычислительных центров (в КазНУ имени аль-Фараби, КБТУ, КНТУ имени К. Сатпаева, Фонд Первого Президента), но для которых все еще не определены классы решаемых задач с полным привлечением их вычислительных ресурсов.

Уникальность разрабатываемых в ДГП НИИ «Математики и механики» проектов заключается в разработке архитектуры, компонент и интерфейса системы распределенных вычислений и программных модулей расчета технико-производственных показателей технологических задач нефтедобычи с учетом условий Казахстана. Особенностью и новизной данной системы является то, что все расчеты ведутся на вычислительных ресурсах, размещенных в Алматы, основная База данных находится в Астане, а пользователь в промысловых условиях через виртуализированное рабочее место технолога-аналитика в Интернете осуществляет расчет и анализ результатов по выбранной модели решения технологической задачи. Ввод и вывод данных можно параллельно осуществлять из любой точки страны, где есть доступ в Интернет. Таким образом, система дополняема новыми моделями технологических задач, оперативно обновляема и любое полномочиями должностное лицо через авторизацию в системе имеет доступ к данным и результатам расчетов. Примерная схема, модельная инфраструктура распределенной вычислительной системы и архитектура системы распределенных вычислений представлены на рисунках 1-2. Следующие основные преимущества предлагаемой ИТ системы:

- свободный доступ с любой точки страны через Интернет;
- программа-анализатор размещена на сервере лаборатории механико-технологического факультета, что облегчает процесс администрирования, сервиса, тестирования и доработки программы;
- сложные расчеты выполняются на вычислительном многопроцессорном кластере «А», что существенно снижает время принятия решения;
- возможность подключения, интеграции и отбора реальных данных из баз данных существующих офисов нефтедобывающих компаний или промысловых условий;
- проведение подготовительного этапа для внедрения полноценной ГРИД системы в Астане.

В целом предлагается проведение исследовательских работ по созданию комплекса программ позволяющих проводить количественную оценку распределения насыщенности в прискважинной зоне пласта.

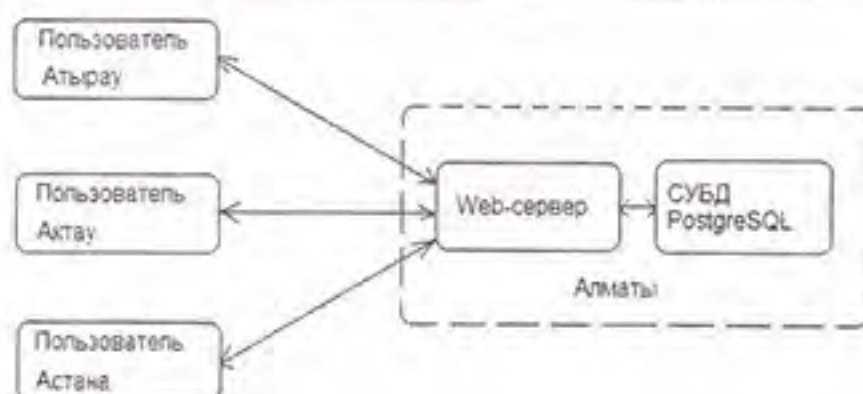


Рисунок 1 – Схема системы

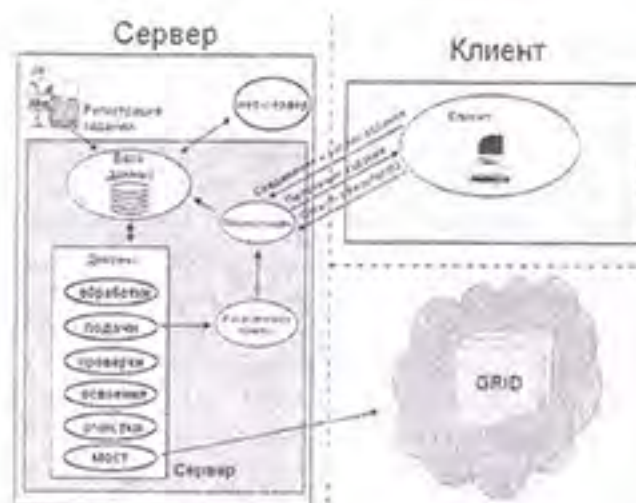


Рисунок.2 – Архитектура системы распределенных вычислений

На основе приведенной выше архитектуры для создания системы распределенных вычислений для моделирования технологических проблем нефти и газа необходимо выполнение следующих этапов:

- выбор СУБД для системы распределенных вычислений для моделирования технологических проблем нефти и газа в условиях Казахстана;
- создание схемы БД системы по месторождениям нефти и газа РК;
- внесение данных по выбранным месторождениям нефти и газа Казахстана в БД системы;
- создание программного комплекса математических моделей фильтрационных процессов с их алгоритмами решения;
- создание web-сервиса ПО с высокопроизводительным кластером URSA при ДГП «НИИ Математики и механики»;
- тестирование (альфа, бета, конечных версий на отказоустойчивость и в соответствии со стандартами к тестированию ПО) и отладка ПО (на соответствие стандартам ПО);
- интеграция ПО с системами предприятий нефтегазовой отрасли на месторождениях;
- вовлечение, заинтересованность и поддержка круга пользователей из областей науки и технологий, с предоставлением технической поддержки, обратной связи и обучения.

Различными научно-исследовательскими организациями и производственными компаниями в мире ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы создания вычислительных и управляющих систем для нефтедобывающей и перерабатывающей промышленности, в частности, созданы программные продукты компаний Roxar, Шлюмберже, Тайгерз и т.д. Однако, они решают частные задачи и имеют ряд существенных особенностей и ограничений: ввод и обработка огромного объема входных данных (иногда даже искаженных), а также эффективная визуализация без возможности реальной оценки происходящих процессов внутри нефтегазонасыщенных пластов и т.п. Успешная разработка месторождения нефти и газа зависит от своевременного применения различных методов повышения нефтеотдачи пластов. При разработке месторождений возникает необходимость совершенствования оценки процесса разработки, которая связана с извлечением нефти путем использования современных методов воздействия на пласт.

В нашей республике в различных научно-исследовательских институтах, входящих в состав Казахского института нефти и газа ведутся активные исследования в области разведки, добыче и транспортировке углеводородного сырья с учетом теплового воздействия. Следует также отметить наличие исследовательских подразделений в нефтегазодобывающих компаниях, которые также проводят опытно-исследовательские исследования по анализу и внедрению новых технологий разработки месторождений. В странах ближнего и дальнего зарубежья достаточно активно изучаются теоретические основы и практические методы реализаций новейших технологий повышения нефтеотдачи пластов, в частности при применении методов термического воздействия на пласт. В Российской Федерации аналогичные работы ведутся под руководством ВНИИГиГ им. С.М. Губкина.

Однако во многих исследованиях в попытке охватить учет влияния большого количества факторов на характер протекания процесса были предложены и использованы сложные математические модели, которые имели чисто теоретический характер без возможности применения на практике и не позволяли получить содержательную интерпретацию полученных результатов. Также в результате построения моделей допускаются наличие большого количества параметров, которые зависят от геологической структуры, но вместе с тем для них невозможно выписать какой-либо приемлемый математический вид зависимостей для адекватного проведения вычислительного эксперимента в рамках анализа всего процесса в целом и дальнейшего прогноза возможностей добычи нефти.

Проводимые исследования и созданные программные средства иностранных компаний требуют значительных затрат по внедрению и адаптации этих систем для наших месторождений. Но в тоже время методы описания процессов и алгоритмы решения указанных задач не разглашаются, что не оказывает положительного влияния на развитие отечественной науки в данной отрасли.

В настоящее время разрабатывается единая технология распределенных вычислений через Интернет, которая позволяет глобально распределенным системам функционировать на огромном ресурсе и обеспечивает гибкий доступ к высокопроизводительным вычислительным средствам международному сообществу пользователей.

Для разработки эффективных систем мониторинга, контроля и управления нефтяной нефтегазового месторождения, прежде всего, необходимы:

1. Внедрение единого подхода в оценке инвестиционной отдачи от реализаций технологических систем, а также стратегии (плана) поэтапного вовлечения месторождений в эксплуатацию;

2. Проведение предварительных работ по сбору первичных данных и определению

способа разработки/эксплуатации объекта. Построение адекватной модели (физическая, математическая/компьютерная) рассматриваемой технологической системы/объекта, для первичной оценки эффективности предлагаемых технологий разработки объектов и анализа возможных сценариев реализации проекта;

– создание автоматизированного комплекса по сбору и обработке данных с объектов (месторождения, центр сбора, очистки и транспорта товарной нефти и т.д.), постоянное уточнение/корректировка параметров и условий реализованной модели (физическая, математическая/компьютерная). Реализация современных способов передачи и обработки данных с объекта;

– определение критериев «оптимального» режима работы и обслуживания объектов, минимизация роли «человеческого фактора»;

– разработка систем мониторинга и «быстрого» оповещения о внештатных (аварийных) ситуациях в работе объекта;

– создание системы анализа показателей/параметров текущей эксплуатации/разработки объектов, прогнозирования возможных сценариев протекания процессов (физических, химических и т.д.) и экспертных систем для принятия своевременных решений.

Естественно, для реализации каждой из этих задач дополнительно требуется из более детальный и всесторонний анализ с выявлением всех составляющих компонент эффективной работы/эксплуатации/разработки подобных сложных систем.

Распределенные вычислительные системы, объединяющие настольные ПК, корпоративные серверы, мощные симметричные многопроцессорные системы и серверы центров обработки данных, могут обеспечить доступ к огромным объемам вычислительных ресурсов по необычайно низкой цене.

Потенциальными потребителями услуг разрабатываемой ИТ системы могут являться: производственные объединения и компании, реализующие внедрение передовых информационных технологий в производство; государственные и негосударственные организации работающие в сфере добычи нефти и газа; научно-исследовательские организации, высшие учебные заведения и учебные центры как в ближнем, так и дальнем зарубежье.

Компьютерная модель позволяет вести расчеты технологических показателей разработки нефтяных и нефтегазовых залежей на естественном режиме (режим растворенного газа), на режимах заводнения, при смешанных режимах. При этом пласт рассматривается неоднородным по проницаемости и пористости, с переменной толщиной. Пористость, проницаемость, давление и фазовые насыщенности осредняются по толщине пласта. Пласт считается вскрытым произвольной системой добывающих и нагнетательных скважин. Основу модели оставляют система уравнений Бакли-Левретта с учетом кинетики тепло- и массообмена [7]: Пусть $Q_T = \Omega \times [0, T]$, $S_T^i = \Gamma^i \times [0, T]$, n – внешняя нормаль к границе Γ . Тогда соответствующая система уравнений имеет вид:

$$\vec{u}_i = -\frac{K_0 f_i}{\mu_i} \nabla p (i=1,2),$$

$$mH \frac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div}(H \vec{u}_1) = 0,$$

$$-mH \frac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div}(H \vec{u}_2) = 0,$$

$$s + s_1 = 1,$$

$$\begin{aligned}
 & mH \frac{\partial}{\partial t} [c_1 s + (1-s)c_2] + H \frac{\partial a}{\partial t} + \operatorname{div}(Hc_1 \vec{u}_1) + \operatorname{div}(Hc_2 \vec{u}_2) = r, \\
 & H \frac{\partial((1-m)\rho_0 C_0 T_p)}{\partial t} + H \frac{\partial(m(\rho_1 C_1 s \tilde{c}_1 + \rho_2 C_2 s \tilde{c}_2)T)}{\partial t} + \\
 & \operatorname{div}(H(\rho_1 C_1 v_1 \tilde{c}_1 + \rho_2 C_2 v_2 \tilde{c}_2) \cdot T) + H(\rho_1 C_1 v_1 \tilde{e}_1 + \rho_2 C_2 v_2 \tilde{e}_2) \cdot \nabla(p) \\
 & = \operatorname{div}(H(\bar{\lambda}(s, T, \tilde{c}_1, \tilde{c}_2) \nabla T + \bar{\lambda}_0(T_p) \nabla T_p)) - 2 \sqrt{\frac{\lambda_3 C_3}{\pi \cdot t}} \rho_3 (T_p + t \frac{\partial T_p}{\partial t})
 \end{aligned}$$

уравнениями кинетики тепло- и массообмена в пористой среде соответственно:

$$\alpha_T \frac{\partial T_p}{\partial t} = \eta(T) - T_p,$$

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \frac{1}{\tau} \cdot (G(c) - a),$$

функции $\eta(T) \equiv T$ и $G(c)$ определены в виде, полагая $c_1 = c$ и $c_2 = \phi(c)$:

$$G(c) = \begin{cases} 1, & c > c^* \\ [0,1], & c = c^* \\ 0, & c < c^* \end{cases}$$

начальными:

$$s|_{t=0} = s_0(x), \quad c|_{t=0} = c_0(x), \quad a|_{t=0} = a_0(x), \quad T|_{t=0} = T_0(x)$$

граничным условиям:

$$(P, S, \theta) = (P_0, S_0, \theta_0),$$

$$-D \cdot \frac{\partial c}{\partial n} + \vec{v}_{\text{ис}} \cdot c = q_* \cdot c^*, (x, t) \in \Sigma^1 = \Gamma^1 \times [0, \tilde{t}],$$

q_* - заданный расход на единицу площади;

c^* - известное значение концентрации примеси;

D - абсолютная проницаемость пласта;

$\tilde{t}$ - толщина пласта;

θ - пористость.

Начальные условия описывают исходные распределения в пласте насыщенностей и температуры. Граничные условия могут отражать как условие непроницаемости внешней среды, так и условие постоянства давления на части границы или на всей границе. На внешней границе может быть задано также постоянство фазовых насыщенностей [1-4]. Для добывающих скважин предусматриваются режимы работы при задании следующих параметров:

- забойное давление, мПа;

- депрессия, мПа;

- дебит жидкости в пластовых условиях, м3/сут;

- дебит нефти в поверхностных условиях, т/сут;

- дебит нефти и воды, т/сут;

- дебиты нефти и газа, т/сут и тыс.м3/сут.

Для нагнетательных скважин предусмотрены режимы работы при задании

- забойного давления, мПа;

- расхода нагнетания воды, м3/сут;

- расхода нагнетания газа, тыс.м3/сут.

Вышеуказанная система управлений решается относительно давления, температуры, концентрации и насыщенностей конечно-разностными методами [6].

Разработанный программный продукт анализа методов увеличения нефтеотдачи пластов в призабойной зоне скважины для повышения эффективности технологических процессов добычи включает несколько методов воздействия на пласт, таких как тепловое воздействие, закачки поверхностно-активных веществ (ПАВ) и др.

В условиях быстрого развития нефтегазовой промышленности остро встал вопрос о качественном анализе эффективности разработки нефтяных объектов при применении современных методов математического моделирования пластовых процессов. Для увеличения нефтеотдачи применяют вторичные методы, которые позволяют улучшить физические, фильтрационно-емкостные характеристики нефтяного пласта. К таким методам относятся тепловой метод воздействия, а именно нагнетание воды с регулируемой температурой. В связи с этим разработан программное обеспечение для 3D – трехмерного моделирования теплового метода воздействия на нефтяной пласт (нагнетание воды с регулируемой температурой) с учетом произвольного расположения фонда нагнетательных и добывающих скважин.

В общем виде гидродинамическая модель совместной фильтрации нефти и раствора ПАВ учитывала влияние ПАВ на относительные фазовые проницаемости, реологические свойства нефти и капиллярное давление (на межфазное натяжение, смачиваемость коллектора и функцию Леверетта), диффузионные и адсорбционные свойства ПАВ, неоднородность залежей по напластованию и простиранию, гравитационные эффекты и систему размещения нагнетательных и эксплуатационных скважин. В основе данного программного комплекса заложены самые современные научные разработки, которые позволяют нам максимально эффективно использовать многопроцессорную вычислительную технику с современной архитектурой. За счет этого удастся продемонстрировать высокую производительность расчетов.

Проект изначально разрабатывается как интерактивный пакет, основанный на технологии «тонкого клиента». Тонкий клиент (англ. thinclient) в компьютерных технологиях – компьютер или программа-клиент в сетях с клиент-серверной или терминальной архитектурой, который переносит все или большую часть задач по обработке информации на сервер. Поэтому в качестве клиентской части использовались web-клиенты. Web-клиент как программа – браузер. Web-клиент как устройство – устройство, основным приложением которого (с точки зрения разработчика устройства или маркетолога) является браузер.

Результаты моделирования:

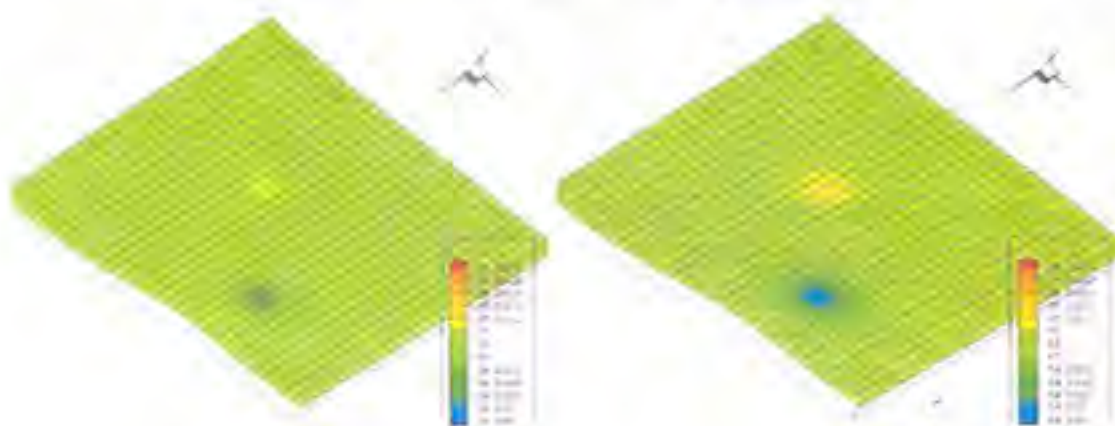


Рисунок 3 - Изменение температуры пласта при $t=6$ и при $t=16$



Рисунок 4 - Изменение концентрации пласта при $t=3$ и при $t=16$

Еще одной отличительной особенностью продукта является новый подход к интерактивному взаимодействию пользователя с расчетным ядром. Расчетный модуль – основная бизнес-логика приложения и пользовательский интерфейс разделены, что автоматически снимает нагрузку с клиентской части, перенаправляет всю вычислительную нагрузку на серверную часть, облегчая таким образом, контроль над приложением, одновременно избавляя от необходимости обновления программного обеспечения клиентской стороны. По ходу работы программы, пользователь может в реальном времени просматривать имеющиеся результаты, управлять расчетом, а также интерактивно вносить изменения в модель посредством стандартных устройств ввода, без использования ключевых слов или специального оборудования.

Программное обеспечение реализовано на языке java с использованием базы данных PostgreSQL 8.4. Клиентская часть не требует установки, т.к. выполнена в виде веб-сайта и открывается в любом из браузеров: MS Internet Explorer, Mozilla FireFox, Opera, т.е. является тонким клиентом. Это позволяет находиться пользователю в любом городе и любой стране и делать необходимые расчеты через Интернет на мощном веб-сервере.

Визуализация данных была выполнена с привлечением технологии WebGL на HTML5. HTML5 – язык для структурирования и представления содержимого для Всемирной паутины, а также основная технология, используемая в Интернете. Основной её целью является улучшить язык, поддерживающий работу с новейшими мультимедийными приложениями, при этом сохраняется лёгкость чтения кода для человека и ясность исполнения для компьютеров и приспособлений (веб-браузеры, статические анализаторы и т.д.). HTML5 включает в себя HTML 4 и JavaScript, следуя своим непосредственным предшественникам HTML 4.01 и XHTML 1.1, HTML5 отвечает всем требованиям, для которых HTML и XHTML в основном используются во Всемирной паутине. HTML5 также считается микстурой будущего с введенными различными спецификациями, вместе с тем введенными продуктами программного обеспечения, такими как веб-браузеры, установленными для использования в общей практике. WebGL – это библиотека для программного обеспечения, которая расширяет возможности языка программирования JavaScript, позволяя ему создавать интерактивную 3D графику внутри любого совместимого с ней веб-браузера. Компьютерные браузеры, которые поддерживают WebGL это всем известные браузеры, такие как Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera, Safari[8].

Далее представлены примеры контуров, рассчитанные модулем визуализации трехмерного пласта.

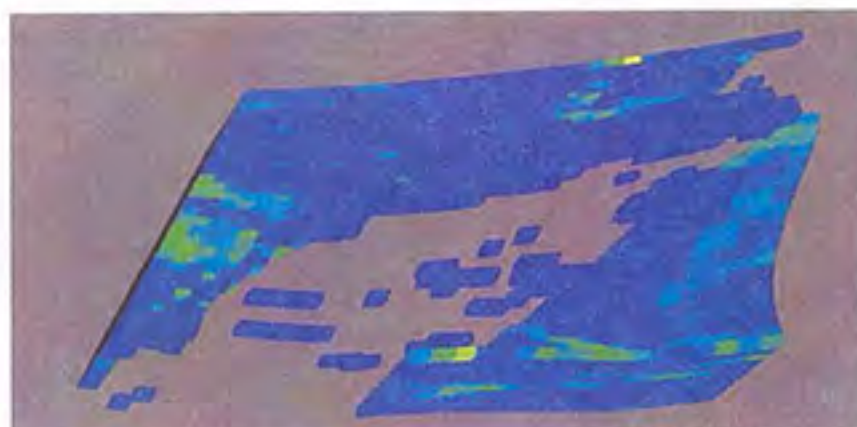


Рисунок 5. Неактивный пласт, прорисованный программой на HTML5/Java/JavaScript.

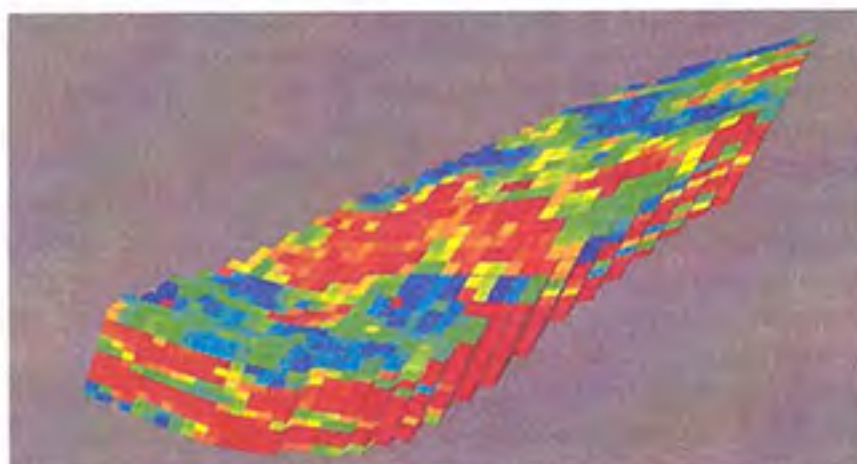


Рисунок 6. Активный пласт, прорисованный программой на HTML5/Java/JavaScript.

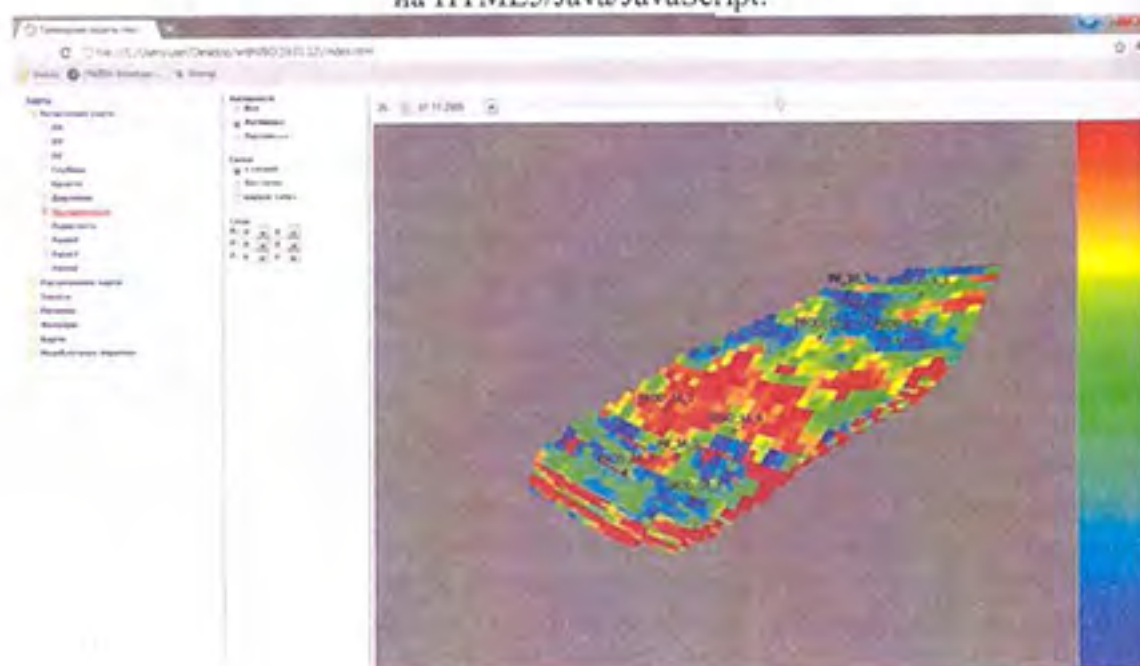


Рисунок 7. Активный пласт со скважинами

Литература

- Buckley S.E., Leverett M.C. Mechanism of fluid displacement in sands // AIME. – 1942. – Vol. 146. – P. 107-115.
- Leverett M.C. Flow of oil – water mixtures through unconsolidated sands // Trans. AIME. – 1939. – Vol. 132. – P. 45-54.
- Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. – Москва: Гостехиздат, 1960. – 97 с.
- Данаев Н.Т., Корсакова Н.К., Пеньковский В.И. Массоперенос в приквацинной зоне электромагнитный каротаж пластов. – Алматы: Казак университети, 2005. – 180 с.
- Mukhambetzhanyov S.T., Akhmed-Zaki D.Zh. Modeling of a problem of phase transitions in non isothermal filtration and qualitative properties of the decision // Wiertnictwo Nafta gaz. – Poland, 2008. – Vol. 25/2. – P. 541-549.
- Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. – Москва, 1990, Том 1,2.
- Ахмед-Зак Д.Ж. Математическое моделирование теплообменных процессов в пористой среде // Материалы V Международной научно-методической конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в образовании и науке», – 2010. – С. 26-32.
- Ричард С. Райт-мл., Бенджамин Липчак. OpenGL Суперкнига. – Москва, Санкт-Петербург, Киев, 2006. – 1039 с.

ДК 621.01

М.С. Джуматаев, А.Ж. Баялиев

Институт машиноведения НАН КР, Бишкек, Кыргызстан

О СОСТАВЛЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УДАРНОЙ МАШИНЫ С ДВУХКРИВОШИПНО-ПОЛЗУНЫМ МЕХАНИЗМОМ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

The dynamic model of the striking machine with mwocrank – crawler mechanism of the variable structure was designed in this work. In this work was described the equations of the motion of the main elements of the striking machine.

В Институте машиноведения НАН КР ведутся научно-исследовательские работы по созданию ударных машин на основе двухкривошипно-ползунного (ДКП) механизма переменной структуры (МПС) [1, 2]. Основными элементами предлагаемых ДКП-МПС являются два одинаковых нецентральных (эксцентриковых) кривошипно-ползунных механизма, расположенных симметрично относительно направляющей общего ползуна, причем кривошипы синхронно вращаются в противоположных направлениях.

Кинематическая схема отбойного молота с ДКП-МПС представлена на рисунке 1. Она состоит из гидродвигателя 1, цилиндрических зубчатых колес 2, 3, 4, маховиков-кривошипов 5 и 6, шатунов 7 и 8, поводка 9 с ползун-бойком 10 и инструмента 11.